OH&RM ONE HEALTH & RISK MANAGEMENT
VOL. 2, ISSUE 4
2021

MEDICAL SCIENCES

RISCUL PENTRU SĂNĂTATE AL EXPUNERII LA RADON

Aurelia ABABII

Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Republica Moldova
Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu", Republica Moldova

Autor corespondent: Aurelia Ababii, e-mail: ababiiaureliausmf@yahoo.com

DOI: 10.38045/ohrm.2021.4.03 CZU: 614.876:546.296

Keywords: *residential radon, lung cancer, radon-tobacco synergism.*

HEALTH RISK OF RADON EXPOSURE

Introduction. *Radon is a chemical element of increased interest to the scientific community due to its implications in the etiology of bronchopulmonary cancer. Pollution of indoor air with radon causes serious effects on health, due to alpha radiation emitted following the process of disintegration into isotopes that together with dust particles, dust enters the alveolar level.*

Material and methods. *This study was based on the analysis of bibliographic sources within the PubMed and Google Scholar platforms. The relevant articles for the study were chosen analogously to the research objectives, interest in publications attesting to the problem of residential radon, its implications in the etiology of lung cancer and the synergism between radon and tobacco.*

Results. *Radon is attributed a significant role in indoor air pollution, has a share of about 50% of total exposure to ionizing radiation and is the second leading cause of death from lung cancer internationally. The synergism between radon and tobacco causes an increased effect in triggering the processes of damage at the cellular level, by disturbing translation and transcription. In the Republic of Moldova, the problem is current; the level of residential radioactivity caused by radon exceeds European and national standards in about half of cases.*

Conclusions. *It is imperative to continuously monitor radon concentrations in the country's homes, set benchmarks, update national rules and implement an effective strategy to reduce the negative effects of radon exposure.*

Cuvinte cheie: *radonul rezidențial, cancer bronhopulmonar, sinergism radon-tutun.*

Introducere. *Radonul reprezintă un element chimic radioactiv, de interes sporit pentru comunitatea științifică, din cauza implicațiilor acestuia în etiologia cancerului bronhopulmonar. Poluarea aerului din interior cu radon provoacă efecte grave asupra stării de sănătate, produse de radiațiile alfa, emise în urma procesului de dezintegrare în izotopi, care, împreuna cu particule de praf, pătrund în organism la nivel alveolar.*

Material și metode*. Studiul dat este bazat pe analiza surselor bibliografice din cadrul platformelor PubMed și Google Scholar. Articolele relevante pentru tema studiului au fost selectate în funcție de obiectivelor cercetării, interes prezentând publicațiile ce atestă problema radonului rezidențial, implicațiile acestuia în etiologia cancerului pulmonar și a relației de sinergism dintre radon și tutun.*

Rezultate*. Radonului i se atribuie un rol semnificativ în poluarea aerului de interior, deține o pondere de circa 50% din expunerea totală la radiații ionizante și la nivel internațional prezintă a doua cauză de deces prin cancer pulmonar. Sinergismul dintre radon și tutun determină un efect sporit în declanșarea proceselor de afectare la nivel celular, prin dereglarea translației și a transcripției. În Republica Moldova problema este actuală, nivelul radioactivității rezidențiale, cauzat de radon, depășește atât normele europene, cât și pe cele naționale în circa jumătate dintre cazuri.*

Concluzii. *Este imperios a asigura monitorizarea continuă a concentrațiilor de radon în locuințe, stabilirea valorilor de referință, actualizarea normelor naționale și implementarea unei strategii eficiente de reducere a efectelor negative, datorate expunerii la radon.*

INTRODUCERE

Atribuirea problemelor sănătății un rol de prioritate în cadrul obiectivelor internaționale permite cristalizarea unor tendințe ambițioase de susținere a inițiativelor ce vizează păstrarea bunăstării populației și promovarea conceptului de sănătate sub toate aspectele. Un element decisiv în prioritizarea intervențiilor de sănătate îl constituie cunoașterea riscurilor și comunicarea intersectorială a acestora, în scopul atingerii unui nivel maxim de eficiență a activității sistemelor medicale. Evaluarea comunitară a riscurilor privind determinantele stresogene chimice și non-chimice, reprezintă elemente de bază în cadrul elaborării politicilor de sănătate. Gradul de influență a unei determinante față de alta sau efectele cumulative potențate reciproc necesită a fi luate în calcul la elaborarea modelelor factorilor de risc din cadrul unei comunități. O provocare importantă în cadrul elaborării modelelor de expunere comunitară a factorilor de risc o reprezintă evaluarea cumulativă a acestora, fapt care implică necesitatea modelării simultane a expunerii la acești factori de stres chimici și non-chimici, în condițiile existenței altor elemente predictorii și a extinderii demografice și epidemiologice diferit la nivel global (1).

Aprecierea stării generale de sănătate a populației permite abordarea integrală a tuturor caracteristicilor ce o determina, evaluării fiind supuse atât calitatea serviciilor medicale, organizarea sistemului medical, gradul de dezvoltare a țării cât și nivelul cunoștințelor indivizilor privind propria stare de bine fizic, social, mintal și riscurile din mediul înconjurător ce o pot afecta. Nivelul de conștientizare a populației referitor la determinanții stării de sănătate reprezintă o latura extrem de importantă, cu un potențial semnificativ de influență asupra indicatorilor morbidității și mortalității. Pentru sensibilizarea populației referitor la anumite aspecte ale profilaxiei, educației pentru sănătate este necesară o argumentare integrată și prezentarea clară a riscurilor și beneficiilor pe care le poarta fiecare determinantă. Astfel este indispensabilă necesitatea realizării unor studii și cercetări în scopul definirii exacte a tuturor momentelor importante și a aspectelor legate de factorii de risc și efectele directe sau indirecte asupra organismului uman. Un element esențial, cu repercusiuni majore asupra stării de sănătate îl constituie nivelul fondului radiologic natural, estimarea riscului de expunere a populației la sursele de radiații naturale, care capătă actualitate în contextul unei dezvoltări a tehnologiilor nucleare și a extinderii fondului artificial de radiații. Pentru o abordare amplă a riscului asociat expunerii la surse de radiații este indispensabilă monitorizarea dozelor survenite din expunerea la radiația cosmică, la substanțele prezente în apa consumată, în materialele de construcție utilizate și expunerea la radonul din interiorul locuințelor, contribuția acestora capătă valoare în special pentru anumite categorii de muncitori, prezentând riscuri nu doar pentru populația generală, dar și în cadrul mediului ocupațional (2). Deși omul este supus periodic unor expuneri la doze semnificative de radiații artificiale, precum radiațiile folosite în medicină cu scop de diagnostic (radioscopii, radiografii) sau tratament, radiațiile naturale au un rol aparte, deoarece acțiunea lor asupra organismului este permanentă. Specia umană a fost supusă expunerii radiațiilor naturale de la începuturi, nivelul lor, cel mai probabil, nu devia semnificativ față de cel actual, iar radionuclizii naturali erau prezenți în scoarța Pământului de la formarea sa. Unele elemente ce se caracterizează printr-o durată de viață scurtă au dispărut, iar altele au format sedimente contribuind în continuare la emiterea de radiații și generarea fondului radioactiv (3). Se estimează că circa 82% din totalul radiațiilor absorbite de om sunt de origine naturală - cosmică, terestră și radiații de emisie (4). Noțiunea de radioactivitate naturală presupune proprietatea de dezintegrare nucleică a atomilor unor elemente, cu emiterea spontană de radiații ionizante, precum alfa, beta, gamma, generând astfel elemente noi, ce formează familii radioactive. Radioactivitatea semnifică, în același timp, și depistarea acestor elemente în toate componentele mediului ambiant: apă, sol și aer, dar și în diverse substanțe și materiale (5). Conform literaturii de specialitate, în natură se cunosc circa 340 de radionuclizi, însă nu toți posedă proprietăți radioactive, doar circa 70 dintre aceștia care apar în mod natural, fiind izotopi ai elementelor grele (3). Acești radionuclizi pot fi clasificați, în funcție de origine, în *radionuclizi primordiali*, a căror timp de înjumătățire este estimativ mai mare decât timpul

scurs de la formarea Pământului *radionuclizii cosmogeni,* ce se formează în urma interacțiunii radiației cosmice cu anumiţi atomi ţintă în atmosferă sau la nivelul scoarţei terestre şi *radionuclizi derivaţi* din activitatea umană prin intermediul unor procese de exploatare generându-se materiale TENORM (*technologically enhanced naturally occurring radioactive materials*) (4, 6, 7). În condițiile unei influențe continue asupra organismului apare necesitatea instituirii unui sistem permanent de monitorizare şi de supraveghere a nivelului de fond al radioactivităţii. Fenomenul de radioactivitate contribuie la poluarea mediului extern şi intern, corespun-zător dozelor de expunere, timpului şi asocierii altor factori negativi, apar efectele imediate sau tardive. *Scopul acestui studiu* constă în estimarea riscului pentru sănătate, asociat expunerii populației la concentrații sporite ale radonului și identificarea influenței asupra stării de sănătate a factorului radiostresogen.

MATERIAL ȘI METODE

Prezenta cercetare are drept obiectiv studiul cercetărilor expuse în sursele bibliografice privind influența radonului rezidențial asupra stării de sănătate a populației și stabilirea interacțiunii dintre consumul de tutun și expunerea organismului uman la concentrații crescute ale gazului radon. Pentru realizarea obiectivelor au fost selectate publicațiile din cadrul platformelor PubMed și Google Scholar în limba engleză și română. Au fost analizate studiile efectuate în perioada anilor 2010-2020, și au fost selectate publicațiile relevante care prezentau consecințele pe termen lung ale expunerii la radiațiile ionizante cauzate de radon. Cuvintele-cheie după care au fost realizate căutările publicațiilor sunt: *radon and lung cancer, radon and smoking, the effects of radon expositions.*

REZULTATE

Poluarea aerului din interiorul locuințelor cu elemente radioactive reprezintă în continuare una dintre preocupările majore ale Agenției Internaționale pentru Energie Atomica (AIEA). Deși radioactivitatea naturală și fenomenul de radioactivitate a fost descoperit datorită unui minereu radioactiv, Uraniu, în 1896 de către Henri Becquerel, această descoperire nu a fost abordată sub aspectul unui subiect cu impact socio-medical până în momentul când a apărut problema poluării cu substanțe radioactive artificiale, survenite în urma proceselor nucleare și a producerii de energie. Progresul tehnologic, evoluția și schimbările survenite în societate în ultimele secole conferă un sens particular fondului radioactiv natural în contextul analizei expoziției totale a populației și definirii riscului asociat acestei expuneri (2). Efectele expunerii populației la surse de radiații pot fi caracterizate sub mai multe aspecte. Inițial, expunerea organismului la radiații provoacă ionizarea țesuturilor prin transferul de energie, efect datorat particulelor încărcate, ulterior se declanșează o serie de procese fizico-chimice, soldate mai târziu cu apariția efectelor biologice. Consecințele se pot manifesta în timp, fie imediat sau tardiv, determinând afectarea la nivel molecular prin deteriorarea acizilor nucleici ARN și ADN, dereglând procesele de transcripție și de translație, degradarea proteinelor, afectarea nucleelor și a aparatului mitotic celular, a cromozomilor și a altor componente celulare, prin declanșarea lizei la nivel de citoplasmă și formarea radicalilor liberi, provocând apariția unor mutații la nivel de gene sau fiind factor de risc în apariția maladiilor oncologice (8, 9, 10). Tot mai multe studii la ora actuală tind sa demonstreze riscurile și consecințele legate de expunerea organismului la radiații ionizante naturale, care, în mod cert, este continuă, iar asocierea altor factori stresogeni induce activitatea radiațiilor, sporind șansele apariției și dezvoltării unor maladii oncologice.

Deoarece radioactivitatea naturala reprezintă un proces comun pentru toate statele lumii, problema protecției populației de iradiere capătă dimensiuni continentale. Nivelul radioactivității este diferit atât pe plan național, cât și internațional, variațiile fiind în strânsă corelație cu o serie de factori. Diferențele dintre distribuția fondului natural sunt determinate de tipul de roci din care este compus solul fiecărei regiuni. Solurile ce sunt compuse din roci de granit, precum este în sud-vestul Marii Britanii determină un fond de radiații mai intens, în comparație cu celelalte zone ale țării al căror sol conține în mare parte roci de calcar (11). Fiind distribuite neomogen în toate straturile scoarței și fiind prezente în diverse tipuri de soluri, elementele radioactive, precum și izotopii acestora, prezintă un pericol subestimat pentru

starea de sănătate, fiind direct sau indirect implicate în diminuarea stării de sănătate a populației și generarea patologiilor oncologice. Aportul considerabil în crearea fondului natural terestru de radiații îi aparține radonului, ^{222}Rn, se estimează că circa 50% din iradierea totală de origine naturală este cauzată de radon, iar 82% din totalul radiațiilor absorbite de om sunt de origine cosmică, terestră sau sunt radiații de emisie (6). Fiind un gaz nobil, nu reacționează chimic cu alte substanțe, incolor, lipsit de miros acesta difuzează din sol datorită dimensiunilor relativ mici ale atomului în interiorul locuințelor, producând diferite concentrații, astfel populația fiind expusă iradierii de tip alfa. Radonul este cel mai greu gaz din natură, având densitatea de 9,73 kg/m^3, perioada de înjumătățire de 3,82 zile, se dizolvă ușor în solvenții organici și în apă, face parte din seria Uraniului, fiind produs în toate cele trei serii de dezintegrare (12). În prezent populația este expusă riscului îmbolnăvirii, din cauza creșterii nivelului de poluare a aerului atmosferic cu pulberi în suspensie, dioxid de sulf, aldehida formică, etc., iar a celui de interior - cu gazul radon.

Studiile epidemiologice confirmă că expunerea la radon cauzează afecțiuni ale sistemului respirator și declanșarea cancerului bronhopulmonar. Cota-parte a cancerelor bronhopulmonare (din numărul total), cauzate de radon constituie 3-14%, fiind în strânsă legătură cu nivelul de concentrație medie a radonului pe țară. Conform UNSCEAR, radonului i se atribuie circa 70% din doza efectivă totală de expunere a populației la surse de radiație ionizante naturale și 50% din expunerea totală la radiații ionizante (13).

Gradul de nocivitate a gazului, precum și influența acestuia asupra țesuturilor, este diferită, iar în funcție de doza de expunere radonul poate manifesta calități de la negative până la curative. Utilizarea radonului în scop de tratament este datorată acțiunii sale multiple asupra aparatului reproductiv, fiind eficient în tratamentul impotenței și al infertilității, la nivelul sistemului endocrin acesta determină hipofuncția glandei tiroide, posedă un important efect diuretic contribuind la eliminarea acidului uric, este eficient în tratamentul unor patologii ale pielii, ameliorând circulația periferică, determină atenuarea simptomelor reumatice și are un efect pozitiv asupra sistemului nervos vegetativ, reglând tensiunea arterială. În pofida efectelor terapeutice multiple relevate de către comunitatea științifică medicală, contactul dintre organismul uman și acest gaz prezintă o serie de riscuri, care clasifică radonul drept primă cauză de cancer bronhopulmonar la nefumători și a doua cauză pentru fumători, prima fiind consumul de tutun (1, 12, 14, 15). Radonul reprezintă un element important în evaluare metodelor de studiu cu privire la analiza factorilor de risc chimici și non-chimici, aprecierea riscului cumulativ și elaborarea modelelor de influență a factorilor stresogeni. Nivelurile individuale de risc, asociate radonului, sunt diferite, datorită multitudinii de factori determinanți. Asocierea expunerii la concentrații mari de radon cu consumul de tutun atât la actualii fumători, cât și la ex-fumători sau nefumători crește riscul de apariție a cancerului bronhopulmonar pe unitate de expunere la radon, astfel pentru caracterizarea distribuției tumorilor bronhopulmonare, asociate acestui gaz, este necesară luarea în considerare a unor modele extinse de emergență a altor elemente (1, 15). Numeroase studii internaționale relatează despre riscurile comune asociate radonului și tutunului, raportând despre necesitatea monitorizării și realizării unor eforturi comune de diminuare a influenței negative, produse de acești doi factori. De-a lungul anilor au fost comunicate o serie de rezultate privind repercusiunile asupra stării de sănătate, produse de radon și o gamă vastă de estimări potențiale ale riscului atribuit acestuia, cu certitudine acest gaz ubicuitar rămâne a fi declarat unul dintre cele mai răspândite pericole de mediu (1). Studiile efectuate pe animalele de laborator demonstrează și susțin ipoteza potrivit căreia emiterea radiațiilor alfa de către radionuclizi determină o frecvență sporită a cancerului pulmonar în rândul animalelor expuse. Același model experimental nu poate reda cu precizie debutul și evoluția proceselor tumorale la organismul uman, deoarece o serie de factori influențează asupra etiologiei tumorale, dintre cele mai importante fiind stilul de viață și consumul de tutun. Expunerea la radiații, în absența tutunului, provoacă efecte ce pot fi remediate de către factorii protectivi ai organismului, dacă vorbim de doze mici, însă se atestă o interacțiune multiplicativă dintre consumul de țigarete și concentrațiile sporite de radon (14). La momentul de față nu există dovezi

care ar confirma implicarea radon ului în etiologia altor tipuri de tumori, însă sunt studii care demonstrează implicațiile expunerii la concentrații sporite ale radonului rezidențial, în declanșarea cancerului bronhopulmonar. Deși relevă o legătură slab pozitivă datorită impedimentelor montării unor astfel de studii, asocierea dintre expunerile la radonul din interior și incidența cancerului bronhopulmonar nu poate fi neglijată (16). Analizele combinate ale unor studii din America de Nord și din Europa completează ipotezele expuse anterior privind riscul asociat radonului rezidențial, susținând modelul liniar fără prag, expus de către Comitetul BEIR VI și de către alte organizații (17). Asocierea dintre radiațiile ionizante și tumori poate fi atestată în diverse studii unde se menționează o incidență crescută a cancerului printre populația din zonele de risc. Radonul este un gaz omniprezent, fapt pentru care poluarea aerului de interior cu acest caz nu poate fi evitată, dar poate fi prevenită prin aplicarea tehnologiilor speciale ce împiedică pătrunderea acestuia în interior sau asigură un nivel optim al ventilării mecanice, determinând un microclimat adecvat. Pătrunderea radonului în interiorul încăperilor este influențată de temperatură, umiditate, gradienții de presiune, vânt, încălzirea și ventilația încăperilor, de aceea termenul de expunere la radon trebuie tratat individual de către fiecare persoană și trebuie conștientizat la nivel de risc și consecințe. Calitatea precară a aerului de interior prin gradul înalt de poluare cu radon poate determina efecte negative majore asupra stării de sănătate, acestea fiind potențate de asocierea altor factori nocivi. Conform celor expuse, radonului i se atribuie termenul de *carcinogen bronhopulmonar uman*, în baza studiilor de mutageneză experimentală pe culturi celulare și animale de laborator, rezultatele exprimând dovezi clare privind rolul acestuia în apariția proceselor tumorale (1, 14, 15, 18, 19, 20).

În Republica Moldova, problema radonului rămâne a fi în continuare actuală și importantă în contextul dinamicii incidenței maladiilor oncologice, în special a cancerului bronhopulmonar, fiind astfel afectate sectoarele economiei naționale și ale sistemul medical al țării. O o importanță majoră o prezintă cunoașterea dozelor de expunere a populației în scopul comunicării riscului asociat radonului, prioritizării strategiilor de sănătate publică și implementarea cât mai urgentă a programelor de monitorizare și de diminuare a efectelor negative. Numeroase studii, efectuate pe teritoriul țării, comunică despre concentrația mare a radonului depistată în locuințe. În baza Studiului estimării Riscului de Expunere a populației Republicii Moldova la sursele naturale de radiații ionizante, a fost realizată o evaluare complexă a riscului asociat iradierii de la toate sursele naturale de radiații ionizante în urma estimării nivelului de iradiere a populației. La finalizarea acestuia a fost argumentată necesitatea elaborării atât a unui nou act normativ național de protecție radiologică a expunerii populației la sursele naturale, cât și a recomandărilor practice ce se impun. Au fost obținute date noi privind concentrația radonului în factorii de mediu: apă, aer și sol (21). Monitoringul concentrațiilor de radon în aerul din locuințele de pe teritoriul Republicii Moldova în perioada 2018-2020, realizat de către ANSP cu suportul AIEA, prin măsurări pasive de lungă durată (3 luni), a demonstrat că în 51% dintre locuințele investigate valorile au depășit nivelul de 150 Bq/m3, din care 25% sunt între 150 și 300 Bq/m3, iar 26% depășesc nivelul de 300 Bq/m^3. Astfel, conform rezulta-telor studiului, efectuat pe întreg teritoriul țării, publicat în anul 2019, în interiorul locuințelor s-au înregistrat concentrații ale radonului ce depășeau normele naționale (150 Bq/m^3), în circa 25% de cazuri, în alte 26% - depășeau normele europene (300 Bq/m^3). Concentrația medie a radonului în locuințe pe țară a depășit 200 Bq/m^3, iar în unele locuințe peste 1000 Bq/m^3 (22). Din cele expuse rezultă că până la momentul actual cercetările asupra radonului în aerul din locuințele Republicii Moldova au fost efectuate doar la nivel de screening, utilizând echipament și detectori activi (de scurtă durată, 3-4 ore) de măsurare a concentrației de radon (radonometrul RTM 1800, producător compania SARAD) (21). Studiile internaționale subliniază faptul că pentru expunerea la radon cu o concentrație de 200 Bq/m^3, riscul estimat este de 2,98-6,55% pentru bărbații care fumează continuu și 0,19-0,42% pentru bărbații care nu fumează niciodată, în condițiile unei relații multiplicative pentru efectul comun al radonului și fumatului (15). Conducându-ne de cele puse anterior, privind concentrația medie a radonului pe țară și analizând ponderea semnificativă a fumătorilor, relevăm necesitatea monitorizării continue a variațiilor radonului și a calculării riscului estimativ. Riscul asupra sănătății, cauzat de

expunerea la radonul din aerul din locuințe este studiat insuficient. Astfel, nu se cunosc dozele de expunere a populației țării doar la radon, deoarece calcularea riscului a fost efectuată pentru celelalte surse naturale și medicale. Este imperios necesar efectuarea unor studii epidemiologice de de identificare a relației radon × tutun × declanșarea cancerului pulmonar în Republica Moldova. Până la acest moment nu este elaborată strategia de comunicare a riscului expunerii la radon conform directivei europene.

De o importanță deosebită în examinarea problemei poluării interioare cu radon sunt o serie de factori asociați, începând de la tipul solului, amplasarea zonei locative, numărul de nivele ale locuinței și până la materialele de construcție utilizate. Sursele principale de radon din locuințe sunt în ordinea importanței: exalarea radonului din sol, emanarea din materialele de construcție, componente ale locuinței, apa folosită pentru spălat/gătit, precum și gazul utilizat în bucătării sau în sobe pentru încălzit. În multe țări dezvoltate în prezent există valori recomandate, unele chiar și de intervenție, pentru a căror depășire sunt necesare acțiuni suplimentare de reducere a nivelului de radon în locuințe. Se estimează că nivelul de concentrație a radonului descrește de la parter până la etajele superioare, iar de cele mai dese ori acest decalaj al concentrației este de ordinul centimetrilor, dacă vorbim de radonul emanat prin temeliile construcțiilor. Deși concentrația radonului se află în strânsă legătură cu nivelul ridicat de concentrație a uraniului în sol, prezența acestuia sub forma unor urme în toate tipurile de sol determină o extindere globală a problemei expunerii populației la radonul rezidențial. La problema difuziei radonului din sol prin temeliile caselor de locuit se asociază cea a exalării radonului din materialele de construcție, astfel cauzându-se o poluare intensă a aerului de interior. Procesul de eliminare este dependent de doi factori, prezența radiului în structura materialelor, coeficientul de emanație al acestuia, iar al doilea este tipul și microstructura elementelor de construcție de care depinde eliberarea radonului, fenomen condiționat de umiditate (23). Cel mai crescut conținut de radiu, respectiv radon, este atestat la cărămidă, urmată de beton, gresie, faianță, iar cele mai mici cantități sunt determinate la lemn. Utilizarea neadecvată a materialelor de construcție, funcționarea ineficientă a sistemelor de ventilație, microclimatul nefavorabil, închiderea etanș a geamurilor contribuie la crearea condițiilor nesatisfăcătoare privind acțiunea radonului și la expunerea la doze mari de radiații. Astfel, elaborarea unor norme în constru vizând reducerea impactului acestui gaz la etapa proiectării, construcției și dării în exploatare este indispensabilă. Nivelurile concentrației radonului în aerul locuințelor variază în funcție de anotimp și de mediul de trai, fiind atestată o concentrație ridicată în mediul rural, cauzată de particularritățile de construcție și un nivel de concentrație, practic neglijabil în blocurile de locuit din mediul urban. Descendenții seriei de dezintegrare a radonului (^{214}Po, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi) se fac responsabili de efectele principale în declanșarea cancerului pulmonar prin modificările produse la nivel de ADN, din cauza particulelor alfa ce pătrund în arborele pulmonar împreuna cu aerosolii sau cu praful. Problema expunerii la radon nu se referă doar la casele de locuit, dar și la locurile de muncă. Studiile arată că circa 90% din timp oamenii îl petrec în interior (locuință, birou, școală sau alte încăperi), calitatea aerului are o influență majoră asupra stării de bine a organismului, iar prezența radonului determină nemijlocit gradul de poluare a aerului din spațiul unde ne aflăm. Datorită capacităților de difuzie sau prin transportarea cauzată de diferențele de presiune, radonul pătrunde și se acumulează în aerul din interiorul locuințelor, iar concentrația sa poate atinge valori critice pentru sănătatea populației. Acest gaz omniprezent se face responsabil de efectele asupra aparatului mitotic, componentele celulare și nucleare fiind astfel implicate în etiologia maladiilor oncologice (24).

În majoritatea țărilor este constituit un sistem stabil, bazat pe directive și strategii implementate în scopul prevenirii, diminuării și conștientizării riscului asociat expunerii la radon. Republica Moldova se află la o primă etapă de comunicare și abordare a problemei, ca scop principal fiind aprobarea unei strategii naționale, cu implicare multisectorială. Țara noastră doar începe să facă primii pași pentru dezvoltarea și implementarea unui program național de reducere a pericolului de radon. Actualmente este elaborat Planul Național de acțiuni în controlul expunerii la radon, care urmează a fi aprobat de autorități.

Contribuția acestui gaz la expunerea internă și externă, datorată producerii unei familii întregi de izotopi radioactivi și asocierea proprietăților

fizico-chimice ale radonului prin faptul că poate migra în componentele țesuturilor având tropism marcat față de pulmoni, determină efecte grave asupra organismului uman (25). Peste 1,3 milioane de oameni anual sunt victimele cancerului pulmonar, dintre aceștia circa 16% decedează ca urmare a expunerii la radon (22). Comunitateaștiințifică internațională, de comun acord cu Organizația Mondială a Sănătății, atribuie radonului un rol major în etiologia maladiilor oncologice, fiind considerat a doua cauză în declanșarea cancerului bronho-pulmonar, după consumul de tutun. În Republica Moldova problema radonului devine și mai stringentă în condițiile unei ponderi semnificative a populației fumătoare. Conform statisticilor expuse de către Organizația Mondială a Sănătății, anual tutunul se face responsabil direct sau indirect de moartea a circa 6 milioane de persoane la nivel mondial, iar până în 2030 această cifră poate atinge 8 milioane în lipsa unor strategii concrete de diminuare a efectelor asociate. În Republica Moldova rata mortalității cauzate de consumul de tutun ajunge la 613 decese la 100 mii populație, potrivit OMS, această cifră fiind de aproape două ori mai mare decât cea din Regiunea Europeană (26). Potrivit datelor publicate de către Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova, în anul 2017, în urma analizei ponderii persoanelor fumătoare pe grupe de vârstă, sex, mediul de trai, se constată că circa 20 la sută dintre fumători sunt tineri cu vârsta cuprinsă între 25 și 34 ani, peste jumătate dintre fumători au început această practică în adolescență și cea mai gravă constatare este că circa 17,8% dintre persoanele care suferă de o boala cronică respiratorie sunt fumători zilnici, iar 3,6% fumează ocazional. Nu întâmplător se aduc aceste date, deoarece radonul modificând procesele de translație și de transcripție la nivel celular, se soldează cu urmări potențate de acțiunea tutunului la nivelul aparatului respirator, în special la persoanele al căror statut de sănătate este compromis de prezența unei patologii cronice. Nicotina împiedică procesele de apoptoză celulară, prin creșterea activității acetilcolinei, astfel, celulele expuse unor doze semnificative ale radiațiilor de tip alfa, și care au acumulat anumite mutații nu se autodistrug, dar pot evolua în procese tumorale. Unele studii, efectuate în scopul evidențierii riscurilor legate de inhalarea unor componente din mediul înconjurător în declanșarea de boli cronice inflamatorii la nivel alveolar, au relevat că acestea pot spori și riscul apariției cancerului bronhopulmonar. Utilizându-se modelul inhalării gazelor de eșapament la concentrații crescute s-a observat ca rezultă o supraîncărcare a plămânilor cu particule, ceea ce determină un risc crescut de dezvoltare a proceselor tumorale respiratorii. Studiul a demonstrat că inhalarea altor produse decât cele chimice cancerigene pot produce același răspuns inflamator, respectiv orice leziune la nivel pulmonar are capacitatea de provocare a unei boli cronice inflamatorii. Așadar se creează un mediu favorabil dezvoltării cancerului bronhopulmonar, acesta fiind responsabil și de acțiunea sinergică dintre fumul de țigară și radon (1, 6, 19, 27). Sinergismul dintre acești doi factori cu tendință cumulativă, determină o afectare masivă a țesutului alveolar, proces ce decurge în timp și are impact asupra structurii morbidității și a mortalității. Asocierea iradierii tip alfa, cauzată de radon, determină un sinergism al acestor doi factori ce condiționează tendințele actuale ale morbidității și ale mortalității la nivel mondial. Problema tutunului se caracterizează în același mod, precum cea a radonului; particularitățile demografice, indica-torii socio-economici, factorii contextuali precum legislația locală și internațională determină gradul de consum al tutunului la nivel mondial. Repartizarea incidenței cancerului bronhopulmo-nar atât la nivel regional, cât și la cel continental fiind astfel influențată de variabilitatea fumatului și dispersia concentrațiilor radonului în locuințe. O importanță deosebită în abordarea problemei tutunului o reprezintă expunerea nefumătorilor la fumul de țigară și efectele asupra stării generale de sănătate. Foștii fumători prezintă interes ca obiect de studiu, deoarece, conform analizelor efectuate la nivel internațional, riscul legat de apariția cancerului pulmonar asociat radonului este de circa 5-7 ori mai mare decât la nefumători. Interacțiunea dintre fumul de țigară și radon trebuie tratată din perspectiva altor factori stresogeni non-chimici ai stilului de viață, care ar permite consolidarea rezultatelor privind sinergismul dintre aceștia. Studiile demonstrează ca nu exista diferență de sex în ceea ce privește riscul de cancer pulmonar cauzat de radon pentru anumite categorii de fumători (15, 28, 29).

DISCUȚII

Politica în domeniul protecției sănătății tinde să abordeze radonul ca o problemă medico-sociala importantă, definind impactul asupra sistemelor de sănătate din întreaga lume. Monitorizarea periodică a concentrației radonului este indispensabilă în contextul dinamicii negative a indicatorilor privind patologia oncologică, dar și ca urmare a proceselor naturale desfășurate la nivelul scoarței terestre. Cunoașterea dozelor de expunere, a perioadei de expunere, a zonelor cu un nivel crescut de concentrații permite direcționarea intervențiilor de sănătate în scopul remedierii problemelor și prevenirea apariției consecințelor legate de radon. O strategie combinată, ce ar implementa condiții stricte de exploatare a materialelor radioactive și a radiațiilor, ar include ghiduri clinice, bazate pe dovezi referitor la deciziile de profilaxie, diagnostic și modalități terapeutice în legătură cu expunerea populației la radon, precum și normele în construcții cu referire la prevenirea pătrunderii gazului în încăperile locative, capabile a soluționa o serie de probleme asociate radonului. Reglementările multisectoriale și implicațiile tuturor organelor publice și private sunt indispensabile nu doar la nivel de prevenire, dar și de implementare a politicilor privind prevenirea cancerului pulmonar, a efectelor negative asociate tutunului și expunerii la concentrații sporite a radonului. Amploarea problemei nu este suficient mediatizată și evaluată, în contextul lipsei unei strategii naționale privind diminuarea efectelor negative, protecția populației și stabilirea unei direcții esențiale sub aspect al acțiunii pe termen lung. Recunoașterea consecințele de ordin social, economic și medical pe care le reprezintă radonul și elaborarea măsurilor de diminuare a acestora va contribui la diminuarea cheltuielilor legate de expunerea la radiații ionizante și la reducerea impactului economic produs de acestea. Interacțiunea radiațiilor ionizante cu materia vie se desfășoară în timp. Din această cauză, este indispensabilă realizarea unor intervenții în scopul reactualizării normelor naționale pentru protecția generațiilor viitoare. O importantă componentă în evaluarea riscului legat de expunerea la radon o constituie evidențierea legăturii dintre distribuția indicatorilor de sănătate pe regiunile cu concentrații sporite ale gazului atât în aerul locuințelor, cât și în alte componente ale mediului, precum ar fi apa sau solul și, implicit, influența acestuia asupra stării generale de sănătate a populației (29).

Conform recomandărilor Organizației Mondiale a Sănătății (OMS), Comisiei Internaționale pentru Protecție Radiologică (CIPR) și Agenției Internaționale pentru Energie Atomică (AIEA), crearea unui program de cercetare și a unei metodologii de stabilire a nivelurilor de referință pentru radon și reactualizarea acestora, în funcție de evoluția indicatorilor de sănătate, trebuie să constituie o premisă a sistemelor de sănătate publică din întreaga lume (27). Monitorizarea concentrațiilor de radon în încăperile locative, birouri, centre comerciale va permite atât actualizarea cartografierii radionuclidului pe teritoriul țării, cât și a distribuției morbidității prin maladii oncologice respiratorii, fapt important în dezvoltarea strategiilor de sănătate publică și în implementarea celor mai eficiente măsuri de diminuare a efectelor negative. Hărțile de radon disponibile și utilizate în întreaga lume permit efectuarea analizei ample și aprecierea riscului comunitar vizavi de concentrațiile sporite ale gazului, furnizând date valoroase organelor responsabile, deși uneori se reflectă doar distribuția concentrațiilor de radon și nu este prevăzut riscul imputabil, deoarece când se menționează radonul și efectele sale neapărat se subliniază și alți factori determinanți, cum ar fi consumul de tutun. Radonul constituie o amenințare tacită a locuințelor, de aceea nu trebuie să o trecem cu vederea și să-i tolerăm prezența, ci împreună, comunitatea științifică, societatea civilă și fiecare persoană în parte să contribuim la promovarea unui mediu de trai sănătos.

CONCLUZII

1. Radonul, ca și toate tipurile de radiații, nu poate fi perceput de oameni, însă, efectele sale asupra organismului uman intră în aria de preocupări actuale ale sănătății publice și necesită acțiuni direcționate spre remedierea acestei probleme.
2. Pentru a aborda problema radonului rezidențial este indispensabilă acumularea continuă a datelor privind concentrațiile acestuia, dozele de expunere a populației și asocierea altor factori de risc care ar determina un sinergism în declanșarea proceselor patologice respiratorii.

3. Incidența crescută a cancerului pulmonar se află în strânsă legătură cu consumul, cantitatea de tutun și vârsta de debut a fumatului, acestea fiind condiții ce influențează direct asupra evoluției proceselor tumorale bronhopulmonare.
4. Sensibilizarea societății și crearea unei strategii de comunicare a riscului sunt deziderate le care stau la baza prevenirii efectelor negative ale radonului, prin efortul comun, manifestat atât la nivel comunitar, cât și la cel individual în Republica Moldova.

CONFLICT DE INTERESE
Nimic de declarat.

REFERINȚE

1. Chahine T, Schultz B. Modeling Joint Exposures and Health Outcomes for Cumulative Risk Assessment: The Case of Radon and Smoking. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2011; 8(9):3688-3711. doi: 10.3390/ijerph8093688
2. Cinelli G, Tollefsen T. European Atlas of Natural Radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019; 196:240-252.
3. Burghele B.D. *Contribuția toronului la iradierea naturală a populației din România și probleme care apar în măsurarea toronului și radonului*. Cluj-Napoca, 2013.
4. Corețchi L, Băhnărel I, ș.a. *Monitorizarea surselor de radiații ionizante.* Ghid. Chișinău, 2017.
5. Beck F, et all. Connaissance et perception du risque dû au radon en France. *Cancer/ Radiothérapie*. 2013; 8(17):744-749.
6. Directiva 2013/59/Euratom a Consiliului din 5 decembrie 2013 de stabilire a normelor de securitate de bază privind protecția împotriva pericolelor prezentate de expunerea la radiațiile ionizante și de abrogare a Directivelor 89/618/ Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/ Euratom și 2003/122/Euratom.
7. Fojtikova I, Rovenska K. Radon programmes and health marketing. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011; 2-3(145):92-95.
8. Corețchi L, Furtuna D. Efectele medico-biologice ale expunerii la radiații. Available from: https://cyberleninka.ru/article/n/efectele-medicobiologice-ale-expunerii-la-radon/viewer [Accessed 26.02.2021].
9. Corețchi L.Ș, Băhnărel I, Corețchi L.I, Cornescu A, Strei Th. Radon mapping strategy in the Republic of Moldova. Third European Congress of the International Radiation Protection Association. Helsinki, 2010; 14-18.
10. UNSCEAR Volume I. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 2008. United Nations, New York, 2010.
11. Nuclear Physics Experience. NUPEX. Available from: http://www.nupecc.org/NUPEX/index.php?g=textcontent/radioactivity/radioactivity&lang=ro [Accessed 24.02.2021].
12. Horațiu D. *Aspecte de mediu și sănătate umană, din perspectiva radioactivității naturale și artificiale în județul Covasna*. Cluj–Napoca, 2017.
13. Nancy V.H, Gary G.S. Radon and lung cancer: What does the public really know? *Journal of Environmental Radioactivity.* 2018; 192:26-31.
14. Beir V. *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters*. National Academy Press. Washington, D. C., 1999.
15. Hunter N, Muirhead C. Calculation of lifetime lung cancer risks associated with radon exposure, based on various models and exposure scenarios. Journal of Radiological Protection. 2015; 35(3). Available from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/35/3/539 [Accessed 25. 02.2021].
16. Bisset R, McLaughlin J. Radon. 2010; 29(Suppl 1):38-50. Available from:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21199598/ [Accessed 24.02.2021].
17. Samet J. Residential radon and lung cancer: end of the story? *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 2006; 69(7-8):527-531.
18. AEA-TECDOC-1472. Naturally occurring radioactive materials (NORM IV) Proceedings of an international conference held in Szczyrk, Poland, 17–21 May 2004.
19. Averbeck D, Testard I, Boucher D. Changing views on ionizing radiation-induced cellular effects. *Int. J. Low Radiat.* 2006; 3:133-161.
20. Zoughool M, Krewski D. Health effects of radon: A review of the literature. *International Journal of Radiation Biology.* 2009; 85(1):57-69.
21. Vîrlan S. Estimarea riscului de expunere a populației Republicii Moldova la sursele naturale de radiații ionizante. Autoreferat al tezei de doctor in științe medicale. Chișinău, 2018.
22. Corețchi L, Bahnarel I, Vîrlan S, Apostol I. *Controlul, reglementarea și remedierea expunerii la radon a populației Republicii Moldova.* Chișinău: Ed. „Sirius", 2020.
23. Apostu A. Exhalația radonului din materialele de construcții. Construcții nr. 1, 2007. Available from: http://constructii.incd.ro/Archive/2007-1/2007-1-4.pdf [Accessed 27.02.2021].
24. Pavia M, Bianco A. Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer. Bull World Health Organ. 2003; 81(10):732-738. Available

from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2572329/ [Accessed 12.03.2021].
25. Corețchi L. et al. Control and evaluation of the risk of population exposure to radon. *One Health & Risk Management*. 2020; 1(1):42-49.
26. Accesul populației la servicii de sănătate, Sinteză. Biroul Naţional de Statistică al Republicii Moldova 2017.
27. National Cancer Institute (NIH). Available from: https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/radon/radon-fact-sheet [Accessed 22.01.2021].
28. Bălănel V, Corețchi L. Evaluarea radioactivității naturale a materialelor de construcție, determinate prin spectrometrie gamma. *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină*. 2019; 4(82):112-117.
29. Popescu F.S, Călugăreanu L.D. *Supravegherea medicală specială a lucrătorilor expuși profesional la radiații ionizante*. Ghid. CNMRMC. Available from: https://cnmrmc.insp.gov.ro/cnmrmc/images/ghiduri/Ghid-Radiatii-Ionizante.pdf [Accessed 22.01.2021].

Data recepționării manuscrisului: 08/07/2021
Data acceptării spre publicare: 16/08/2021

Aurelia ABABII, ORCID ID: 0000-0002-9481-5993